

АДАПТИВНОЕ ПОДАВЛЕНИЕ КОРРЕЛИРОВАННЫХ ВО ВРЕМЕНИ ПОМЕХ

МЬИНТ МАУНГ МАУНГ У, АУНГ БО БО ТУН

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

E-mail: myintmgmgoo18@gmail.com

Аннотация. Рассмотрен способ борьбы с коррелированными во времени помехами на этапе междупериодной обработки сигнала с помощью адаптивного гребенчатого режекторного фильтра. Предложен алгоритм адаптации градиентным методом наименьших квадратов. Рассмотрены основные характеристики адаптивных фильтров подавления мешающих отражений различного порядка.

Abstract. The article considers a method for combating time-correlated interference at the stage of inter-period signal processing using an adaptive comb rejection filter. An adaptation algorithm using the gradient method of least squares is proposed. The main characteristics of adaptive filters for suppressing interfering reflections of various orders are considered.

Ключевые слова: пассивная помеха, адаптивный режекторный фильтр, коэффициент подавления

Введение

Одной из основных проблем обнаружения воздушного объекта в импульсной радиолокации является борьба с помехами. Помехи можно разделить на две основные группы: активные и пассивные. Пассивные помехи (ПП) являются коррелированными во времени. К ним относят отражения от подстилающей поверхности, от сооружений, от лесного покрова; отражения от метеообразований, от стай птиц, от облаков дипольных отражателей, от распыленных в пространстве аэрозолей, изменяющих диэлектрическую проводимость среды распространения радиоволн. Такие помехи называют мешающими отражениями (МО).

Способ

Основной способ борьбы с МО основан на их высокой степени междупериодной корреляции и заключается в когерентной междупериодной компенсации [1, 2, 3].

В обзорных РЛС старого парка для подавления пассивных помех широкое распространение получили неадаптивные устройства череспериодного вычитания (ЧПВ). При этом потенциальная возможная эффективность этих устройств не достигается. Для повышения эффективности когерентной компенсации МО возможно применить адаптивные алгоритмы.

Адаптивные алгоритмы можно разделить на алгоритмы с корреляционной обратной связью (КОС) и с прямой оценкой обратной корреляционной матрицы МО (без КОС). При адаптации с обратной связью автоматически корректируются параметры системы обработки сигналов тем самым оптимизируя ее, благодаря чему такие системы имеют преимущество перед адаптивными системами без обратной связи. Однако адаптация с КОС имеет и недостатки. Основными недостатками являются устойчивость и сходимость процесса адаптации.

Подавление МО с помощью алгоритма с прямой оценкой обратной корреляционной матрицы МО будет иметь меньшую эффективность чем алгоритм с КОС, так как параметры МО, которые служат необходимыми данными для адаптации без КОС, являются не известными, а их измерение будет носить всегда случайный характер. Необходимыми данными для адаптации с КОС служат входной и выходной сигнал системы.

Устройство ЧПВ является гребенчатым фильтром подавления МО, а все гребенчатые фильтры реализуют селекцию движущихся целей (СДЦ). Структурная схема неадаптивного однократного устройства ЧПВ показана на рисунке 1 (а). При применении адаптивного алгоритма с корреляционной обратной связью структура ЧПВ обретает вид, показанный на рисунке 1 (б).

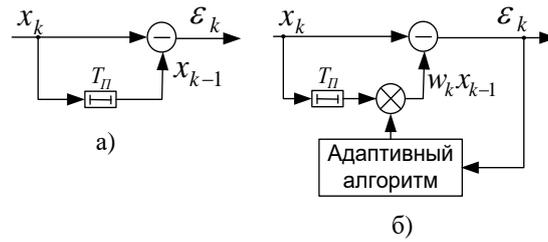


Рис. 1. Структурная схема устройства однократного ЧПВ: а) устройство ЧПВ без адаптации; б) адаптивное устройство ЧПВ

Из рисунка 1 (б), алгоритм работы однократного адаптивного режекторного фильтра может быть представлен выражением (1).

$$\varepsilon_k = x_k - x_{k-1}w_k, \quad (1)$$

где x_k – входной сигнал после ВПО, k – переменная, означающая номер периода повторения ЗС, w_k – весовой коэффициент адаптивного устройства ЧПВ.

По аналогии с алгоритмом (1) можно записать алгоритм работы адаптивного режекторного фильтра порядка L (рис. 2):

$$\varepsilon_k = x_k - \mathbf{X}_{k-1} \mathbf{W}_k, \quad (1)$$

где \mathbf{X}_k и \mathbf{W}_k – векторы входного сигнала и весовых коэффициентов.

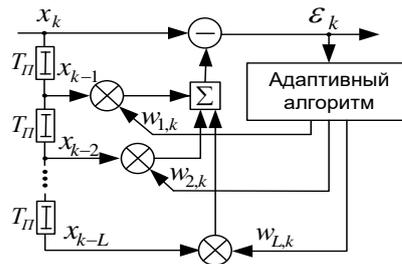


Рис. 2. Структурная схема адаптивного режекторного фильтра L -го порядка

Процесс адаптации режекторного фильтра при подавлении коррелированной помехи заключается в коррекции его весовых коэффициентов, при значениях которых выходной сигнал ε_k становится минимальным.

Существуют различные методы коррекции весовых коэффициентов. Особое место среди всех методов занимает метод наименьших квадратов [3, 4], т. к. он является простым при практической реализации [4]. В данном методе в качестве оценки градиента ($\hat{\nabla}_k$) берется само значение среднеквадратической ошибки ε_k^2 , благодаря чему на каждой итерации адаптивного процесса оценка градиента определяется в виде: $\hat{\nabla}_k = -2\varepsilon_k \mathbf{X}_k$.

Имея такую оценку градиента, полученный адаптивный алгоритм можно представить в виде [4]:

$$\mathbf{W}_{k+1} = \mathbf{W}_k - \mu \hat{\nabla}_k = \mathbf{W}_k + 2\mu \varepsilon_k \mathbf{X}_k, \quad (2)$$

Параметр μ определяет устойчивость и скорость сходимости процесса адаптации [4]: $0 < \mu < \frac{1}{(L+1)\sigma_c^2}$, где σ_c^2 – мощность входного сигнала. В общем случае параметр μ определяется неравенством: $0 < \mu < \frac{1}{tr[\mathbf{R}]}$, где $tr[\mathbf{R}]$ – сумма диагональных элементов корреляционной матрицы \mathbf{R} .

Адаптивная система является устойчивой, если математическое ожидание вектора весовых коэффициентов $E[\mathbf{W}_{k+1}]$ сходится к винеровскому решению [5]:

$$\mathbf{W}^* = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{P}, \quad (3)$$

где \mathbf{W}^* – оптимальный вектор весовых коэффициентов, при котором выходной сигнал ошибки имеет минимальное значение; \mathbf{P} – математическое ожидание произведения вектора входного сигнала и полезного отклика: $\mathbf{P} = E[d_k \mathbf{X}_k]$, где d_k – полезный отклик, в данном случае – входной сигнал x_k .

Из выражений (1) и (2) следует структура цепей обратной связи адаптивного режекторного фильтра L -го порядка (рис. 3).

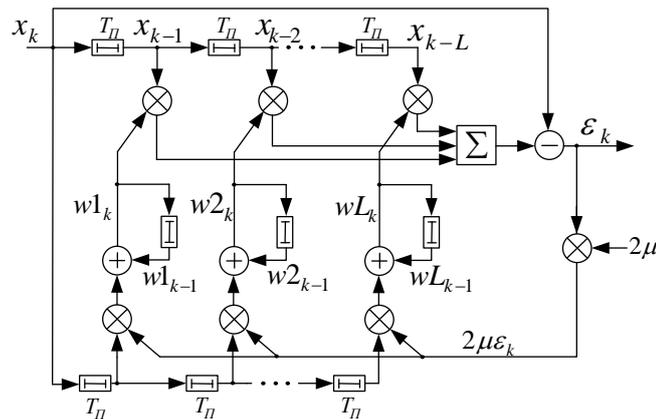


Рис. 3. Структурная схема адаптивного режекторного фильтра L -го порядка, реализующая алгоритм наименьших квадратов

Оценка эффективности адаптивного режекторного фильтра проводилась экспериментальным путем. Для этого был смоделирован в математической среде Mathcad входной сигнал после внутрипериодной обработки, который состоял из аддитивной смеси гауссовского шума, МО и ОС. Комплексные огибающие пачек МО и ОС моделировались как коррелированные случайные процессы [6].

На рисунке 4 представлен результат фильтрации входного сигнала. Процесс обработки производился согласно адаптивному алгоритму, представленному структурной схемой на рисунке 3.

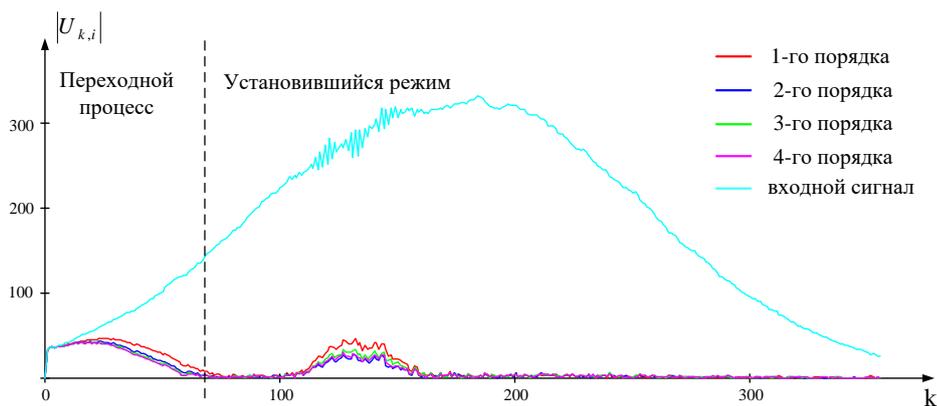


Рис. 4. Входной и выходные сигналы фильтров различного порядка

В результате переходных процессов образуется «кромка» МО, что видно из рисунка 4. Для определения эффективности работы адаптивного фильтра подавления МО используют коэффициент подавления пассивной помехи $K_{ПП}$ [7]. Он определяется отношением мощности помехи на входе (P_{II}^{ex}) и выходе ($P_{II}^{вых}$) системы:

$$K_{ПП} = \frac{P_{П}^{вх}}{P_{П}^{вых}} = \frac{U_{вх}^2}{U_{вых}^2}, 10 \cdot \log_{10} K_{ПП}^{раз} = K_{ПП}^{дБ}.$$

Для оценки входной (выходной) мощности сигнала достаточно найти среднее значения мощности сигнала на одной дальности в установившемся режиме. Средняя мощность сигналов рассчитывается выражением: $P_{П}^{вх(вых)} = \frac{1}{N} \sum_{k=20}^{N-1} |U_{вх(вых)}|^2$, где N – число отсчетов азимута.

Значения коэффициентов подавления МО адаптивных режекторных фильтров различного порядка, представлены в таблице 1. Коэффициент междупериодной корреляции МО, в данном случае, равен 0.9985.

Таблица 1. Значений коэффициентов подавления МО фильтров различного порядка

Порядок фильтра	1	2	3	4
Коэффициентов подавления	35.23 дБ	37.72 дБ	38.33 дБ	38.62 дБ

Также были проведены расчеты эффективности подавления режекторными фильтрами 5-го, 6-го и 8-го порядка, их коэффициенты подавления МО составляют 38.80 дБ, 38.81 дБ и 38.81 дБ соответственно.

Заключение

Эффективность режекторного фильтра выше четвертого порядка, возрастает не значительно. Из этого следует, что модель входного сигнала соответствует четвертому порядку адаптивного фильтра.

При усложнении модели входного сигнала, эффективность режекторного фильтра 4-го порядка снижается. Но на практике доказано, что реальная модель ПП соответствует 2 - 4-му порядку [1]. Из этого следует, что при практической реализации системы СДЦ ограничиваются третьим или четвертым порядком для уменьшения затрат на вычислительные ресурсы.

Список использованных источников

1. Латушкин В. В. Основы радиолокации. Модели сигналов и помех. Ч.П: Конспект лекций / В. В. Латушкин, С. А. Горшков, С. Ю. Седьшев, - Минск: ВА РБ, 2005. – 127 с.
2. Ширман Я.Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я.Д. Ширман, В. Н. Манжос. – 2-е изд. - Москва: Радио и связь, 1981. – 416с.
3. Радиоэлектронные системы. Справочник. / Я.Д. Ширмана, С. А. Горшков [и др.]; под общ. ред. Я.Д. Ширмана. – 2-е изд. - Минск: Радиотехника, 2007. – 512с.
4. Видроу Б. Адаптивная обработка сигналов / Б. Видроу, С. Стирнз. Пер. с англ. – Москва: Радио и связь, 1989. – 440 с.
5. Адаптивная компенсация помех в каналах связи / Ю. И Лосев, А. Г. Бердииков, Э. Ш. Гойхман, Б. Д. Сизов; под общ ред. Ю. И Лосева. – Москва: Радио и связь, 1988. – 208 с.
6. Быков В. В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике / В. В. Быков. – Москва: Советское радио, 1971. – 328 с.
7. Радиотехнические системы: учеб. пособие для вузов / Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов, Ю. А. Колеменский, Ю. Д. Ульяницкий; под общ. ред. Ю. М. Казаринова. - Москва: Высшая школа, 1990. – 496 с.